

Analisa Resistivitas Batuan dengan Menggunakan Parameter *Dar Zarrouk* dan Konsep Anisotropi

Fransiskha W. Prameswari, A. Syaeful Bahri, Wahyudi Parnadi

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung (ITB)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

e-mail: syaeful_b@physics.its.ac.id

Abstrak — Telah dilakukan analisa resistivitas batuan dengan menggunakan parameter Dar Zarrouk dan konsep anisotropi pada data Vertical Electrical Sounding (VES) konfigurasi schlumberger lapangan FINAL#. Parameter Dar Zarrouk digunakan untuk menghitung resistivitas transversal maupun longitudinal untuk kemudian didapatkan nilai resistivitas media dan koefisien anisotropi lapangan. Digunakan dua data VES saling tegak lurus dan satu data sumur sebagai referensi yang letaknya paling dekat dengan kedua line tersebut. Data hasil pengolahan kemudian dikorelasikan dengan data sumur sebagai data insitu untuk mengetahui kecocokan antara keduanya. Dari hasil korelasi didapat bahwa data pengolahan berdasarkan parameter Dar Zarrouk nilainya mampu mendekati data sumur yang ada dengan range 1 - 10 Ωm . Zonasi lapangan berdasarkan nilai resistivitas mengindikasikan bahwa lapangan FINAL# memiliki litologi shale dan batuan karbonat berpori yang terisi oleh fluida.

Kata Kunci — Anisotropi, Parameter Dar Zarrouk, Resistivitas, Vertical Electrical Sounding.

I. PENDAHULUAN

BATUAN memiliki karakteristik sendiri termasuk sifat kelistrikan yang ada dalam batuan itu sendiri. Perbedaan sifat kelistrikan pada masing-masing batuan memberikan respon berbeda terhadap arus yang diberikan melalui *metode vertical electrical sounding*. Perbedaan respon ini nantinya dapat dipakai sebagai data rujukan untuk menentukan lapisan yang ada di bawah permukaan dan pendekatan kondisi bawah permukaan melalui harga resistivitas yang didapatkan. Dilakukan pendekatan secara anisotropis pada data VES dengan menggunakan parameter *Dar Zarrouk* pada pengolahan data. Penelitian dilakukan pada lapangan FINAL# daerah Jawa Tengah. Data yang digunakan adalah dua data VES dan satu data log resistivitas pada sumur P01.

Adapun tujuan dari disusunnya penelitian ini adalah menghitung nilai resistivitas media berdasarkan konsep anisotropi dan parameter *Dar Zarrouk*, mengkorelasikan log VES dengan log sumur, memetakan distribusi resistivitas pada lapangan, dan mengidentifikasi lapisan batuan.

II. DASAR TEORI

A. Sifat Kelistrikan Batuan

Setiap batuan memiliki karakteristik tersendiri tak terkecuali dalam hal sifat kelistrikannya. Salah satu sifat batuan tersebut adalah resistivitas (tahanan jenis) yang menunjukkan kemampuan bahan tersebut untuk menghantarkan arus listrik. Semakin besar nilai resistivitas suatu bahan maka semakin sulit bahan tersebut menghantarkan arus listrik, begitu pula sebaliknya [1].

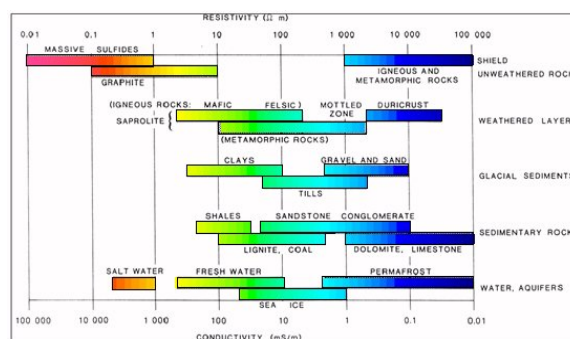
Berdasarkan harga resistivitasnya, batuan digolongkan dalam 3 kategori yakni :

Konduktor baik : $10^{-6} < \rho < 1 \Omega\text{m}$

Konduktor sedang : $1 < \rho < 10^7 \Omega\text{m}$

Isolator : $\rho > 10^7 \Omega\text{m}$

Terdapat jangkauan nilai kelistrikan dari setiap batuan yang ada dan hal ini akan membantu dalam penentuan jenis batuan berdasarkan harga resistivitasnya atau sebaliknya. Gambar 1 menunjukkan nilai jangkauan tersebut berdasarkan setiap jenis batuan. Sebagai contohnya, untuk *clays* memiliki nilai 5 – 100 Ωm . Nilai ini tidak hanya bergantung pada jenis batuan saja tetapi bergantung pula pada pori yang ada pada batuan tersebut dan kandungan fluida pada pori tersebut.



Gambar.1. Jangkauan harga resistivitas batuan

Sifat kelistrikan dari batuan dipengaruhi oleh dua parameter utama yakni resistivitas lapisan dan tebal lapisan itu sendiri. Sedangkan parameter turunan lainnya adalah konduktansi longitudinal, resistansi transversal, resistivitas transversal, dan resistivitas longitudinal. Parameter tersebut dijabarkan lebih jelas pada parameter *Dar Zarrouk*.

Untuk lapisan tertentu :

Konduktansi longitudinal

$$S_L = \frac{h}{\rho} = h \cdot \sigma \quad (1)$$

Resistansi transversal

$$T = h \cdot \rho \quad (2)$$

Resistivitas longitudinal

$$\rho_L = \frac{h}{S_L} \quad (3)$$

Resistivitas transversal

$$\rho_T = \frac{T}{h} \quad (4)$$

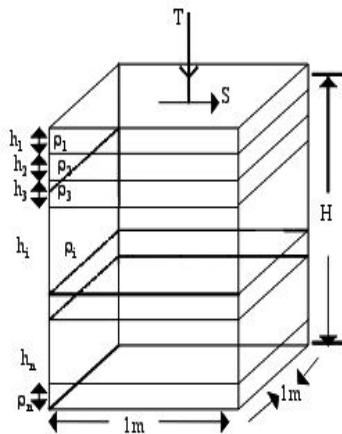
Resistivitas medium dan Anisotropi

$$\rho_M = \sqrt{\rho_L \cdot \rho_T} \quad \lambda = \rho_T / \rho_L \quad (5)$$

Untuk n lapisan

$$S_L = \sum_{i=1}^n \left(\frac{h_i}{\rho_i} \right) = \frac{h_1}{\rho_1} + \frac{h_2}{\rho_2} + \frac{h_3}{\rho_3} + \dots + \frac{h_n}{\rho_n} \quad (6)$$

$$T = \sum_{i=1}^n (h_i \cdot \rho_i) = h_1 \cdot \rho_1 + h_2 \cdot \rho_2 + h_3 \cdot \rho_3 + \dots + h_n \cdot \rho_n \quad (7)$$



Gambar.2.Konsep anisotropi pada lapisan batuan [2]

Pada Gambar 2 menjelaskan bagaimana suatu model bumi berlapis dengan nilai ρ dan h masing-masing pada tiap lapisan. Nilai tersebut nantinya akan digunakan sebagai data perhitungan untuk mendapatkan resistivitas transversal dan longitudinal untuk kemudian dapat menentukan resistivitas media. Inilah pendekatan nilai resistivitas dengan menggunakan parameter *Dar Zarrouk*. ρ merupakan harga resistivitas semu yang didapat pada saat akuisisi lapangan dalam satuan Ωm , h merupakan ketebalan lapisan dalam satuan meter [2].

B. Potensial Listrik oleh Sumber Arus Tunggal pada Permukaan

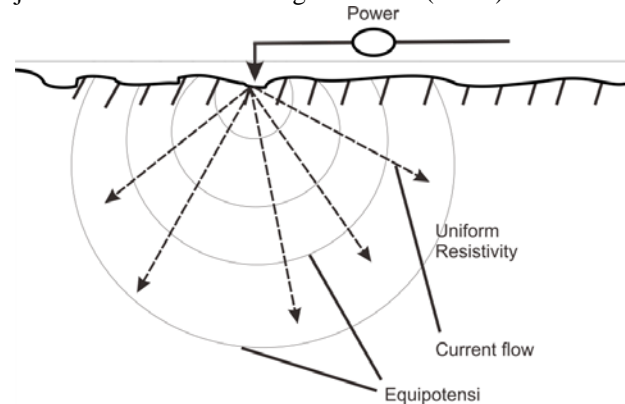
Apabila arus tunggal I diinjeksikan ke dalam permukaan bumi yang homogen dan isotropis dengan nilai konduktivitas

σ yang besarnya berbanding terbalik dengan nilai tahanan jenisnya dengan permukaan yang dialiri arus I adalah luas setengah bola ($2\pi r^2$). Gambar 3 menjelaskan bagaimana suatu garis ekuipotensial membentuk setengah bola di bawah permukaan bumi dengan aliran arus yang berbentuk radial, maka:

$$V(r) = \frac{I\rho}{2\pi r} \quad (8)$$

ρ : tahanan jenis batuan (ohm-meter)

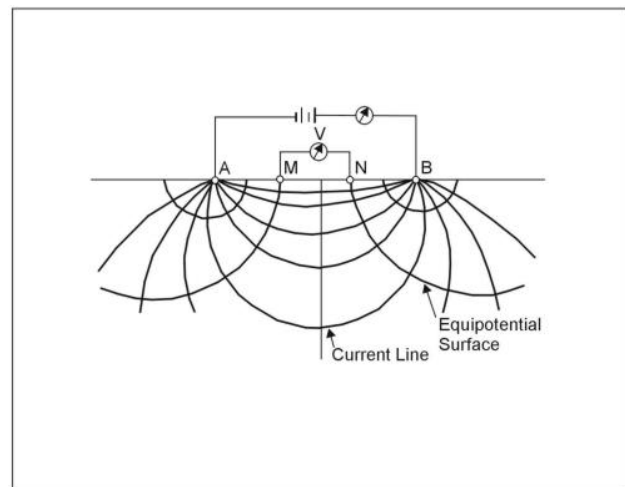
r : jarak antara satu titik dengan sumber (meter)



Gambar.3. Titik sumber arus pada media homogen [3]

C. Potensial Listrik oleh Sumber Arus Ganda pada Permukaan

Konsep arus tunggal dapat diperluas untuk menganalisa arus yang diinjeksikan melalui dua elektroda sebagai sumber di permukaan. Ilustrasi garis ekuipotensial yang terjadi akibat injeksi dua sumber arus ditunjukkan dalam Gambar 4.



Gambar.4.Garis ekuipotensial arus antara elektroda pada media homogen [2]

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right]$$

$$\rho = 2\pi \left[\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right]^{-1} \frac{\Delta V}{I} = K \frac{\Delta V}{I}$$

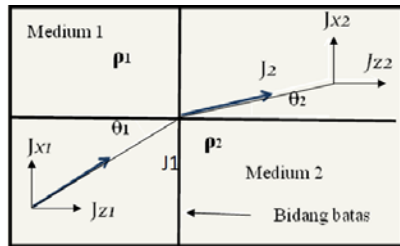
$$K = 2\pi \left[\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right]^{-1} \quad (9)$$

dimana K merupakan faktor koreksi geometri dari konfigurasi elektrode potensial dan elektroda arus.

D. Deviasi Arus Listrik pada Bidang Batas Medium

Pada 2 medium homogen dengan nilai resistivitas berbeda yaitu ρ_1 dan ρ_2 yang dipisahkan oleh bidang batas diberikan rapat arus J yang mengalir dari medium 1 menuju bidang batas dengan sudut θ_1 terhadap sumbu normal seperti yang diilustrasikan pada Gambar 5. Untuk menentukan arus pada medium 2 digunakan persamaan sebagai berikut:

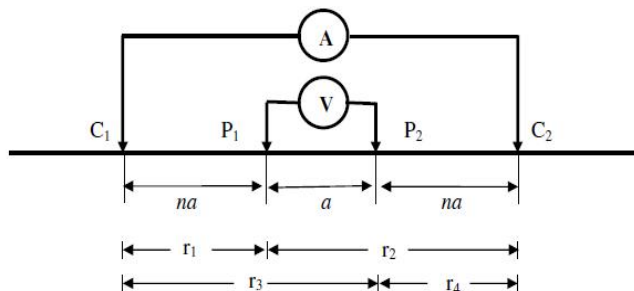
$$\rho_1 \tan \theta_1 = \rho_2 \tan \theta_2 \quad (10)$$



Gambar.5. Aliran arus pada bidang batas dengan $\rho_1 < \rho_2$

E. Konfigurasi Schlumberger dan Faktor Geometri

Konfigurasi Schlumberger jarak elektrode potensial relatif jarang diubah-ubah meskipun jarak elektrode arus selalu diubah-ubah.



Gambar 8. Gambar elektrode arus dan elektrode potensial pada konfigurasi Schlumberger [4]

Pada Gambar 8, elektrode pengukur (P1 dan P2) diam pada titik tengah antara elektrode arus (C1 dan C2), dan kedua elektrode arus digerakkan secara simetris keluar (menjauhi elektrode pengukur) dengan spasi pengukuran tertentu.

Maka, berdasarkan gambar, faktor geometri pada konfigurasi Schlumberger adalah

$$K = n(n+1)\pi a \quad (11)$$

Sehingga berlaku hubungan

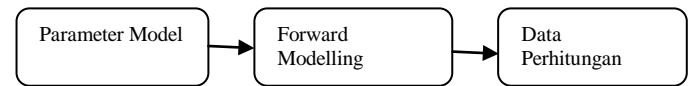
$$\rho_a = n(n+1)\pi a \frac{\Delta V}{I} \quad (12)$$

Nilai na merupakan jarak antar elektrode dengan kelipatan sebesar n pada tiap pergerakan elektrode.

F. Forward Modelling

Pemodelan kedepan menyatakan proses perhitungan data yang secara teoritis akan teramati di permukaan bumi apabila

diketahui parameter bawah permukaan. Pada pemodelan data geofisika, dicari suatu model yang menghasilkan respon yang cocok dengan data pengamatan pada lapangan sehingga model tersebut dapat mewakili kondisi bawah permukaan pada lapangan pengukuran data.



Gambar.9. Diagram alir pemodelan ke depan [5]

III. METODOLOGI

A. VES

Data yang digunakan sebagai input pengolahan data adalah data *Vertical Electrical Sounding* (VES). Pada tugas akhir ini digunakan 2 line VES yang saling tegak lurus yakni line 8 dan line 20. Pemilihan line ini juga didasarkan pada letaknya yang dekat dengan sumur.

B. Log Sumur

Log sumur P01 juga merupakan data input yang digunakan. Data sumur ini bersifat input pada *forward modelling* yang dilakukan pada penelitian ini. Selain itu data sumur nantinya juga akan dikorelasikan dengan log VES.

C. Moving Average

Moving average dilakukan untuk menghilangkan efek simpangan lokal yang ada pada suatu data. Moving average dilakukan pada kedua line tepatnya pada line 8-5 dan 20-5. Hasil data yang telah dilakukan moving average nantinya akan menunjukkan trend kurva dari data tersebut. Lebar interval moving average disesuaikan dengan data yang ada.

D. Pengolahan Data

Proses ini dilakukan untuk menentukan nilai resistivitas dari lapisan. Pengolahan data dilakukan berdasarkan parameter *Dar Zarrouk* dan konsep anisotropi pada resistivitas. Untuk menghitung nilai resistivitas lapisan terlebih dulu harus dihitung nilai transversal longitudinal maupun resistivitas longitudinal.

E. Forward Modelling

Proses ini dilakukan untuk mencari suatu model dari parameter yang ada dan mencocokkan perhitungan data pada saat akuisisi lapangan yakni data VES dengan data sumur yang ada.

F. Korelasi

Korelasi dilakukan pada data VES yang telah diolah menggunakan parameter *Dar Zarrouk* dan konsep anisotropi dengan data insitu yakni data log resistivitas sumur. Letak dari line VES maupun sumur dipilih data yang saling berdekatan agar mendapat nilai kecocokan yang maksimal.

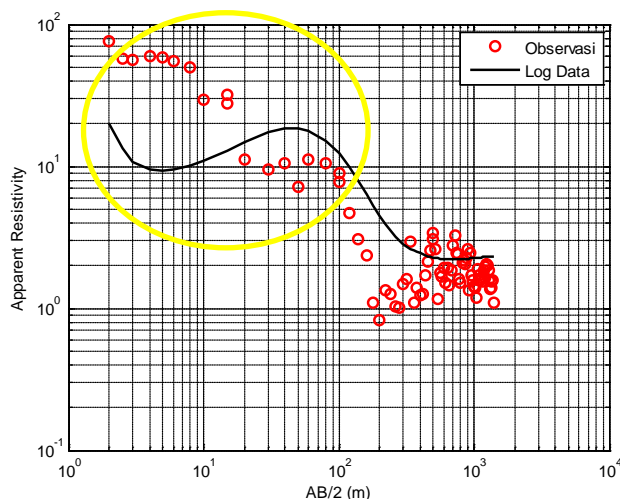
IV. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Data

Data awal yang digunakan adalah dua data VES saling tegak lurus dan satu data log resistivitas sumur P01 pada lapangan final.

B. Pembahasan

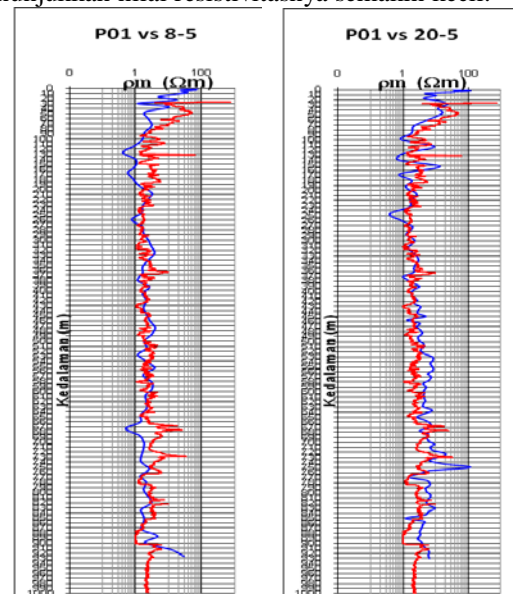
Gambar 10 menampilkan hasil *forward modelling* log P01 dan data lapangan VES line 8-5. Garis hitam merupakan kurva hasil *forward modelling* data sumur P01 dan lingkaran merah merupakan data lapangan VES. Sumbu vertikal merupakan nilai resistivitas dan sumbu horizontal adalah nilai spasi elektroda. Hasil *forward modelling* data log P01 menunjukkan pendugaan model data lapangan yang dinamis dengan kenaikan nilai resistivitas pada spasi elektroda 20 m hingga 200 meter dan nilai resistivitas yang semakin menurun hingga spasi terjauh. Hal yang sama juga ditunjukkan oleh nilai pengukuran data lapangan. Hanya saja data *forward modelling* tersebut belum mampu mewakili data lapangan yang sesungguhnya pada nilai spasi yang kecil. Pada lingkaran kuning, dapat dilihat bahwa jauh sekali antara nilai dugaan model dengan data lapangan sesungguhnya. Hal ini diakibatkan oleh tidak dilakukannya koreksi topografi pada data lapangan. Akuisisi data lapangan dilakukan pada daerah dengan kondisi topografi yang berbeda-beda. Pada data *forward modelling*, input yang ada merupakan nilai resistivitas dengan kondisi geologi yang sebenarnya sedangkan pada data lapangan, data permukaan tidak diikuti dengan koreksi topografi sehingga memunculkan perbedaan yang cukup jauh antara model dengan data sesungguhnya. Kemiripan antara keduanya ditemukan pada semakin jauhnya spasi elektroda. Hal ini karena nilai perbedaan topografi tersebut tidak banyak berpengaruh layaknya pada data dengan spasi kecil. Rasio nilai spasi elektroda dan nilai perbedaan topografi sangatlah kecil sehingga pengaruhnya terhadap data sangat kecil pula. Sedangkan pada nilai spasi kecil, rasionya cukup besar sehingga perbandingan yang diperoleh antara model dengan data lapangan pun menjadi cukup jauh berbeda.



Gambar.10. *Forward modelling* data sumur vs lapangan

Gambar 11 menampilkan kurva Log line 8-5 dan line 20-5 yang masing-masing dikorelasikan dengan Log sumur P01. Hal ini untuk mengetahui bagaimana data eksitu yang diolah menggunakan konsep anisotropi dan parameter *Dar Zarrouk* memiliki trend yang sama dengan data insitu log sumur P01. Korelasi ini juga didasarkan bahwa kedua data line 8-5 maupun 20-5 memiliki letak yang paling dekat dengan log bor P01 sehingga dapat diestimasi bahwa data yang didapat harusnya memiliki nilai yang sama.

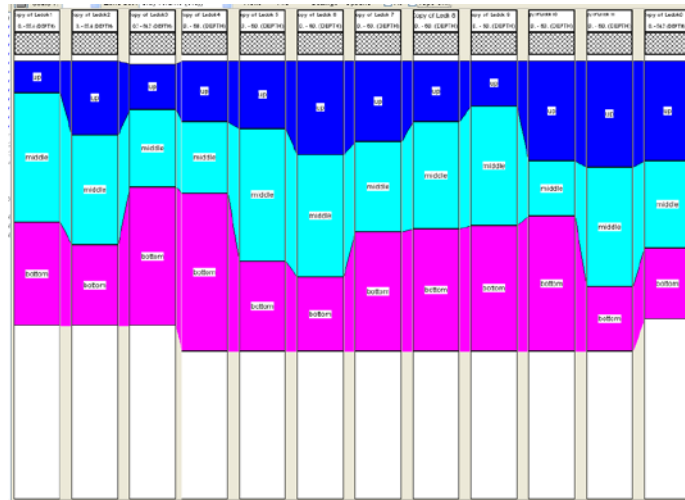
Kurva berwarna biru merupakan kurva data VES sedangkan kurva merah merupakan kurva log P01. Pada korelasi antara data log P01 dengan VES 8-5 nampak bahwa hasil perhitungan VES menggunakan konsep anisotropi memiliki kecenderungan yang sama. Kedua log menunjukkan range nilai resistivitas antara 1-10 Ωm . Hanya saja data bor mampu memberikan perubahan nilai resistivitas dengan lebih detail. Hal ini disebabkan oleh pengambilan data yang dilakukan tiap 0.1524. Sedangkan untuk data VES sendiri tidak diambil pada spasi yang konstan. Spasi elektroda yang bertambah rangenya jauh lebih besar dari 0.1524 m. Oleh karena itu, pada data sumur harga resistivitas tergambar dengan lebih detail dibandingkan dengan data VES. Perbedaan trend yang terjadi pada beberapa titik kedalaman diindikasikan bahwa terdapat kesalahan dalam pengambilan data di lapangan. Pada saat dipindahkannya elektroda ke posisi berikutnya ada beberapa operator lapangan yang tidak melakukan tugasnya dengan baik sehingga hal ini menyebabkan nilai resistivitas yang didapat bukanlah nilai pada titik tersebut melainkan pada titik lain yang sesuai dengan spasi pada saat pengambilan data berlangsung. Sedangkan pada proses perhitungan, data kedalaman diperoleh dari spasi model yang seharusnya. Oleh karena itu, terjadi perbedaan trend seperti tampak pada 660 – 740 m. Kurva yang ditunjukkan log sumur P01 bergerak ke kanan yang berarti nilai resistivitas semakin tinggi sedangkan kurva yang ditunjukkan oleh data VES justru bergerak ke kiri yang menunjukkan nilai resistivitasnya semakin kecil.



Gambar.11. Korelasi bor dengan VES

Log resistivitas yang dibuat dari pengolahan data menggunakan parameter Dar Zarrouk dan konsep anisotropi memberikan trend tertentu untuk digunakan pada tahap penentuan nilai resistivitas dari suatu lapisan tertentu. Zonasi lapisan dengan analisa batuan yang terkandung di dalamnya dapat dilakukan dengan mengetahui trend yang ada pada log. Perubahan yang signifikan dari kurva log dapat diindikasikan sebagai bidang batas antar lapisan. Analisa ini dilakukan pada semua log yang ada untuk kemudian disatukan kembali menjadi zonasi lapisan utuh dari lapangan penelitian. Zonasi lapisan berdasarkan log yang ada serta interpolasi untuk daerah yang tidak diketahui nilai resistivitasnya. Interpolasi merupakan proses menebak nilai pada suatu titik tertentu dimana titik tersebut berada diantara titik-titik yang nilainya telah diketahui dengan pasti. Pada gambar 12 disajikan zonasi tersebut dengan lebih jelas.

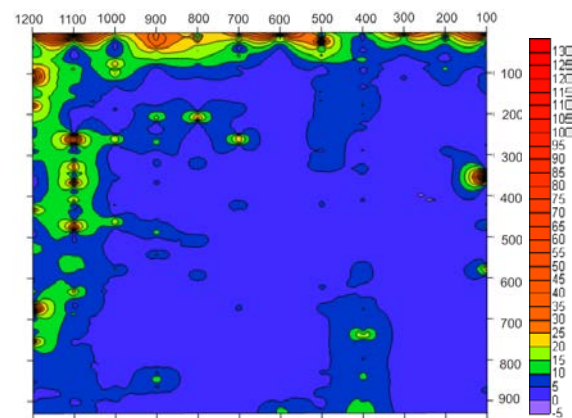
Dari gambar 12, terlihat bahwa lapangan penelitian dibagi menjadi 3 lapisan. Lapisan pertama diidentifikasi sebagai weathering zone dimana zona ini memiliki nilai resistivitas yang tergolong tinggi. Tetapi hal ini juga tidak dapat diinterpretasikan *weathering zone* secara utuh karena pada zona ini nilai topografi masih berpengaruh terhadap nilai resistivitas sehingga error masih banyak ditemukan. Sedangkan lapisan kedua diinterpretasikan sebagai shale yang memiliki nilai resistivitas berkisar pada angka 10 Ω m. Perbedaan signifikan dari nilai resistivitas ditemukan pada zona bawah dengan interpretasi bahwa lapisan ini merupakan karbonat berpori yang terisi oleh fluida berupa hidrokarbon.



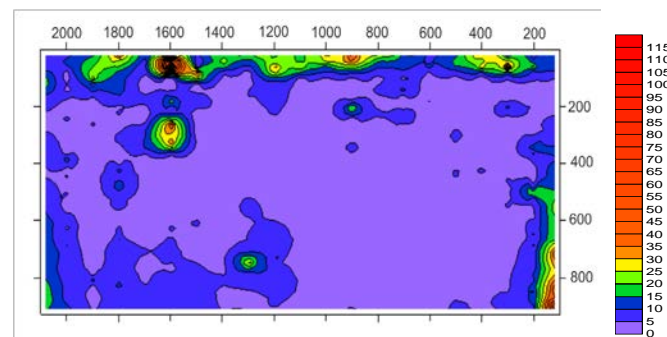
Gambar.12 .Zonasi lapisan batuan berdasarkan nilai resistitas

Pada gambar 13 dan 14 disajikan peta distribusi resistivitas lapangan FINAL#. Peta disajikan terhadap kedalaman pada lapangan. Peta ini didapatkan melalui proses gridding pada software surfer 9. Daerah dengan warna biru memiliki nilai resistivitas yang paling rendah pada lapangan ini. Sedangkan untuk daerah dengan warna jingga memiliki nilai resistivitas yang paling tinggi dengan nilai resistivitas diatas 30 Ω m. Nilai resistivitas yang tinggi pada daerah kedalaman diatas 100 m dapat diinterpretasikan sebagai weathering zone dengan pengaruh error topografi didalamnya. Sedangkan untuk daerah warna jingga yang dikelilingi oleh hijau

merupakan daerah dengan dugaan hidrokarbon didalamnya. Interpretasi ini berdasarkan bahwa adanya oil water contact pada daerah tersebut dan nilai resistivitas hidrokarbon yang lebih besar dibandingkan nilai resistivitas air. Terdapat beberapa data yang tidak terbaca pada surfer sehingga menampilkan nilai resistivitas 0 ataupun negatif.



Gambar.13.Peta distribusi resistivitas pada line 8



Gambar.14. Peta distribusi resistivitas pada line 20

V. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa data yang telah dilakukan dalam pengolahan data VES menggunakan konsep anisotropi dan parameter *Dar Zarrouk* maka dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

- 1) Log VES line 8 dan line 20 memiliki trend yang sama dengan log P01.
- 2) Nilai resistivitas medium yang dihitung dari konsep anisotropi dan parameter Dar Zarrouk berkisar antara 1-10 Ω m.
- 3) Berdasarkan zonasi lapangan, lapisan batuan terdiri dari persilangan antara shale dan karbonat berpori yang terisi oleh fluida.
- 4) Konsep anisotropi dan parameter Dar Zarrouk mampu memberikan nilai resistivitas yang mirip dengan data sumur.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Grandis, H., 2006, *Diktat Kuliah Geo-Elektromagnet*, Departemen Geofisika, FIKTM, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- [2] Taib, MIT., 2000, *Diktat Kuliah Eksplorasi Geolistrik*, Departemen Teknik Geofisika, FIKTM, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- [3] Reynolds, J.M., 1997, *An Introduction to Applied and Enviromental Geophysics*, John Wiley andSons Inc., England.
- [4] Kearey, P., Brooks, M., 2002, *An Introduction to Geophysical Exploration*, Blackwell.
- [5] Sheriff, R.E., 2002, *Encyclopedic Dictionary of Applied Geophysics*, ^{4th} edition, SEG Tulsa.